

ESERCITAZIONE 2, SECONDA PARTE- DIMENSIONAMENTO TELAIO IN CLS, ACCIAIO E LEGNO

Lo scopo della seconda parte di questa esercitazione consiste nel dimensionamento e verifica del telaio, realizzato precedentemente, secondo le tre tecnologie sotto lo sforzo dei carichi di neve, vento e dell'azione sismica, andando ad analizzare nello specifico la situazione più pericolosa.

Per prima cosa abbiamo realizzato su Sap2000 il telaio nelle tre diverse tecnologie, impiegando una maglia regolare di 6mx6m per legno e cls e 6mx8m per l'acciaio, tutte elevate per 4 piani, come precedentemente esplicito e dimensionato nella prima parte.

Una volta impostata la griglia e disegnata la struttura di un solo piano, bisogna assegnare il vincolo "incastro" ai punti alla base della struttura in corrispondenza dei pilastri (JOINT, RESTRAINTS-> INCASTRO) e successivamente definire i carichi qs, qp e qa (DEFINE, LOAD PATTERNS) precedentemente calcolati nella prima parte dell'esercitazione attraverso i fogli excel fornitici e assegnarli alle sole travi principali (ASSIGNE, FRAME LOADS, DISTRIBUTED).

Il passaggio seguente consiste nel fare la combinazione di carico allo SLU rispetto a qs, qp e qa (DEFINE, LOAD COMBINATION, ADD NEW COMBO), andando a specificare i vari coefficienti di sicurezza.

Arrivati a questo punto dobbiamo far capire al programma che al di sopra dei pilastri abbiamo un solaio (impalcato rigido) e lo facciamo assegnando ai punti che collegano le travi il vincolo interno "diaphragm" (ASSIGNE, JOINT, CONSTRAINTS-> ADD NEW COMBO,-> si sceglie l'asse z). Abbiamo terminato la modellazione di un piano, la quale andrà ripetuta per il numero dei piani della struttura (in questo caso 4) attraverso il semplice comando CTRL+C/CTRL+V rispetto all'asse z. Riassegnamo i carichi e il vincolo interno Diaphragm, facendo attenzione a selezionare la spunta, per far sì che il vincolo venga assegnato in maniera diversa in ogni piano.

Una volta completato il modello, bisogna andare ad assegnare le sezioni alle TRAVI PRINCIPALI, TRAVI SECONDARIE, MENSOLE E PILASTRI dimensionate in precedenza sullo specifico foglio Excel e successivamente far partire l'analisi (RUN ANALYSIS, ICONA, FRAMES, MOM 3-3, DISPLAY, SHOW TABLES, FRAME OUTPUT) che mi permetterà di visualizzare e analizzare su una tabella Excel esportata il telaio più sollecitato;

Bisogna però specificare che quando si modella il telaio in legno è necessario definire anche il materiale, che non è presente di default in SAP; per completare questo passaggio scelgo DEFINE/MATERIAL e spunto select advanced properties. Clicco su ADD NEW MATERIAL, scelgo "User" e "Other" e seleziono OK. Nella finestra successiva scelgo il nome del nuovo materiale e l'opzione "Orthotropic". Cliccando poi su SHOW PROPERTIES si aprirà una tabella dove si dovranno inserire alcuni valori del tipo di legno scelto, che si possono reperire consultando le tabelle online.

CALCESTRUZZO

Per il Cls saranno gli elementi più sollecitati sono:

31 -> TRAVE PRINC

32 -> MENSOLA

20 -> PILASTRO

Il valore del momento, la trave e la mensola, e dello sforzo normale per il pilastro, sono stati sostituiti all'interno sempre del precedente foglio Excel per verificare se c'è stato un sovra/sottodimensionamento delle sezioni.

TRAVE PRINC -> da 40x70 a 30x50

TRAVE SECOND -> da 40x70 a 20x30

MENSOLA -> da 40x70 a 40x50

PILASTRO -> da 50x60 a 30x30

ACCIAIO

Per l'acciaio saranno gli elementi più sollecitati sono:

12 -> TRAVE PRINC

71 -> MENSOLA

53 -> PILASTRO

Il valore del momento, la trave e la mensola, e dello sforzo normale per il pilastro, sono stati sostituiti all'interno sempre del precedente foglio Excel per verificare se c'è stato un sovra/sottodimensionamento delle sezioni.

TRAVE PRINC -> da IPE550 a IPE270

TRAVE SECOND -> da IPE550 a IPE100

MENSOLA -> da IPE550 a IPE300

PILASTRO -> da HEA280 a HEA220

LEGNO

Per il legno saranno gli elementi più sollecitati sono:

379 -> TRAVE PRINC

32 -> MENSOLA

20 -> PILASTRO

Il valore del momento, la trave e la mensola, e dello sforzo normale per il pilastro, sono stati sostituiti all'interno sempre del precedente foglio Excel per verificare se c'è stato un sovra/sottodimensionamento delle sezioni.

TRAVE PRINC -> da 45x45 a 20x30

TRAVE SECOND -> da 20x35 a 20x20

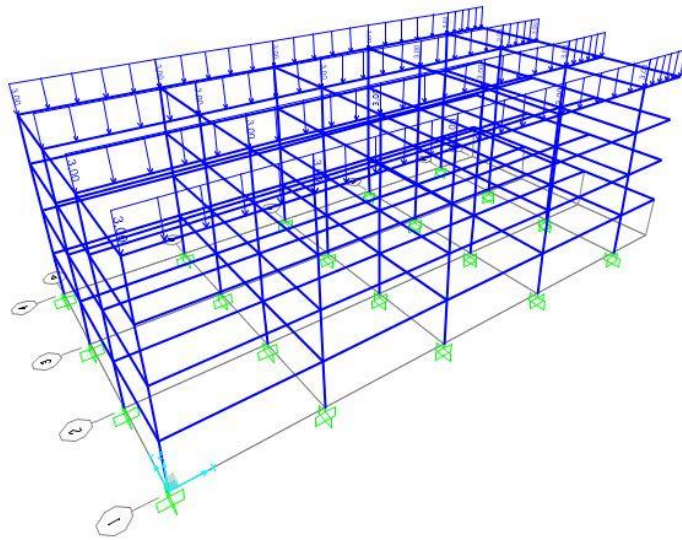
MENSOLA -> da 45x55 a 20x40

PILASTRO -> da 40x40 a 20x20

Dopo aver specificato le sezioni, bisogna assegnare i carichi di neve, vento e sisma alla struttura. Io e le mie colleghe abbiamo pensato di analizzare i vari carichi separatamente e alla fine delle analisi di ciascuno, dopo aver esportato le tabelle Excel, capire quale sia il telaio più sollecitato di ciascuno e scegliere alla fine gli elementi più sollecitati tra tutti.

CARICO NEVE

Il carico neve va applicato alle sole travi principali dell'ultimo impalcato della struttura con valore che può variare tra 0,5 Kn.m e 1 Kn.m in base alle caratteristiche esposte nella normativa, ma noi, ai fini dell'esercitazione, scegliamo convenzionalmente 0,5 Kn.m, il quale andrà moltiplicato per il valore lunghezza d'influenza.



Una volta applicato il carico (ASSIGNE, FRAME, FRAME LOADS, DISTRIBUTED), bisogna fare la combinazione di carico, andando a considerare sempre anche i carichi q_a , q_p e q_a , la quale verrà utilizzata per far partire l'analisi della struttura e ricavarne il foglio Excel con i relativi valori.

CALCESTRUZZO

Gli elementi più sollecitati sono:

379 -> TRAVE PRINC

380 -> MENSOLA

20 -> PILASTRO

390	Qtot + Neve	0	0	-82,3824
379	Qtot + Neve	0	0	-81,5892
384	Qtot + Neve	0	0	-81,5892

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	OutputCase	P	M2	M3
380	Qtot + Neve	0	0	-132,3716
385	Qtot + Neve	0	0	-132,3716
375	Qtot + Neve	0	0	115,3104

Frame	OutputCase	P	M2	M3
20	Qtot + Neve	-639,044	-0,0112	3,3813
21	Qtot + Neve	-639,044	0,0112	3,3813

ACCIAIO

Gli elementi più sollecitati sono:

186 -> TRAVE PRINC

187 -> MENSOLA

53 -> PILASTRO

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+neve	0	0,311	-5,819E-20	-5,863E-11	9,129E-19	-0,3118	1-1
186	8	Q tot+neve	0	66,427	0	2,705E-07	0	-105,0094	186-1

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+neve	0	0,311	-5,819E-20	-5,863E-11	9,129E-19	-0,3118	1-1
187	0	Q tot+neve	0	-62,859	0	0,0017	0	-127,0721	187-1

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
53	3	Q tot+neve	-414,896	3,328	0,0008214	-2,511E-18	-0,0008145	1,4898	53-1
58	3	Q tot+neve	-414,896	3,328	-0,0008214	-2,511E-18	0,0008145	1,4898	58-1

LEGNO

Gli elementi più sollecitati sono:

379 -> TRAVE PRINC

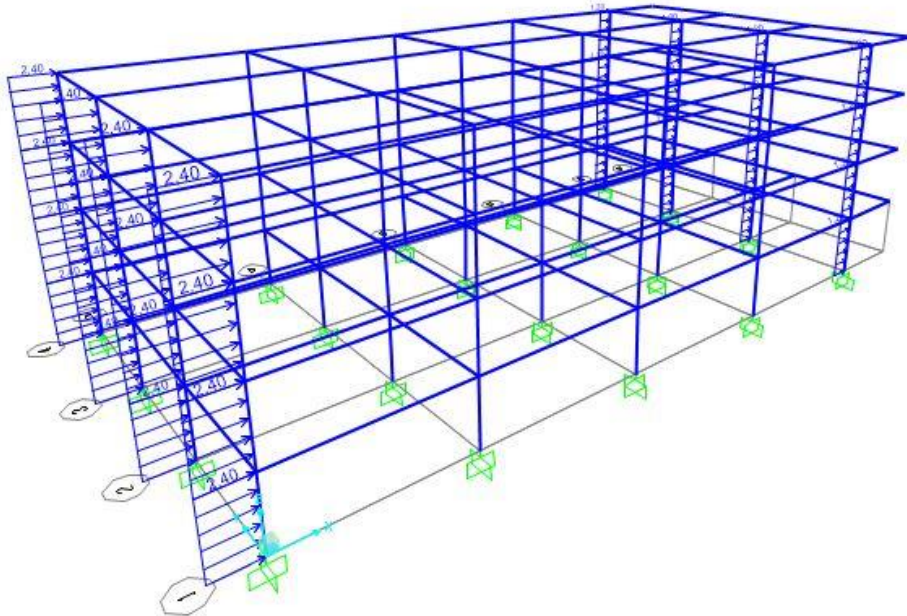
380 -> MENSOLA

20 -> PILASTRO

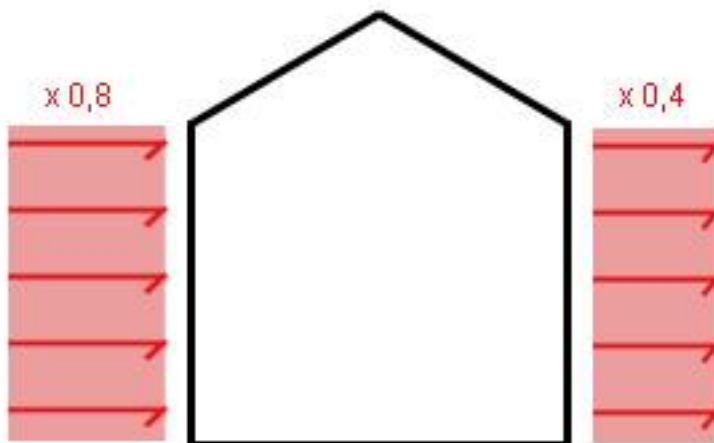
TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
380	0	Q tot+ neve	0	0	-71,6742
385	0	Q tot+ neve	0	0	-71,6742
375	0	Q tot+ neve	0	0	-69,8361
390	0	Q tot+ neve	0	0	-69,8361
379	6	Q tot+ neve	0	0	-61,2025
384	6	Q tot+ neve	0	0	-61,2025

Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
20	0	Q tot+ neve	-283,701	-0,0062	-1,2679
21	0	Q tot+ neve	-283,701	0,0062	-1,2679

CARICO VENTO



Il carico vento, come il carico neve, verrà scelto e applicato in maniera approssimativa per il solo fine dell'esercitazione, in quanto il suo calcolo richiede diversi passaggi e calcoli algebrici e verrà applicato ai soli pilastri delle facciate interessate (dovremmo andare a fare due analisi per le due possibili direzioni del vento ma sempre per convenzione andiamo a studiare quella parallela alle travi principali).



Dobbiamo calcolare due valori per il vento, il carico Sopravvento e Sottovento, andando a moltiplicare il carico convenzionale ($0,5 \text{ Kn.m}$) per i rispettivi coefficienti $0,8$ e $-0,4$ e per la lunghezza d'influenza.

$$0,8 \cdot 0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 6\text{m} = 2,4 \text{ KN/m}$$
$$-0,4 \cdot 0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 6\text{m} = -1,2 \text{ KN/m}$$

Una volta ottenuto il valore, andiamo a definire la

combinazione di carico del vento, la quale come per il vento, considererà i carichi q_a , q_p e q_a oltre

a quel del vento appena definito, andando a moltiplicarlo per il coefficiente di sicurezza pari a 1. Una volta terminata, si farà partire l'analisi e si esporterà il foglio Excel.

CALCESTRUZZO

Gli elementi più sollecitati sono:

263 -> TRAVE PRINC

380 -> MENSOLA

20 -> PILASTRO

327	0,5	Qtot + VentoX	0	0	-82,4192
263	6	Qtot + VentoX	0	0	-71,7415
268	6	Qtot + VentoX	0	0	-71,7415
258	6	Qtot + VentoX	0	0	-71.1197

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	ElemStation
380	0	Qtot + VentoX	0	0	-112,1216	0
264	0	Qtot + VentoX	0	0	-112,0977	0
269	0	Qtot + VentoX	0	0	-112,0977	0

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	ElemStation
20	0	Qtot + VentoX	-621,086	-0,0112	33,2612	0
21	0	Qtot + VentoX	-621,086	0,0112	33,2612	0

ACCIAIO

Gli elementi più sollecitati sono:

70 -> TRAVE PRINC

129 -> MENSOLA

53 -> PILASTRO

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+ vento	0	0,311	-1,358E-18	-5,863E-11	6,109E-18	-0,3118	1-1
70	8	Q tot+ vento	0	48,966	0	1,247E-07	0	-80,5981	70-1

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
129	0	Q tot+ vento	0	-44,859	0	0,0017	0	-91,0738	129-1

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
1	6	Q tot+ vento	0	0,311	-1,358E-18	-5,863E-11	6,109E-18	-0,3118	1-1
53	3	Q tot+ vento	-383,392	-5,946	0,0008214	-3,516E-18	-0,0008145	17,261	53-1

LEGNO

Gli elementi più sollecitati sono:

32 -> TRAVE PRINC

31 -> MENSOLA

20 -> PILASTRO

Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
31	6	Q tot + vento	0	0	-60,2023
273	6	Q tot + vento	0	0	-52,9756
32	0	Qtot	0	0	-51,4286

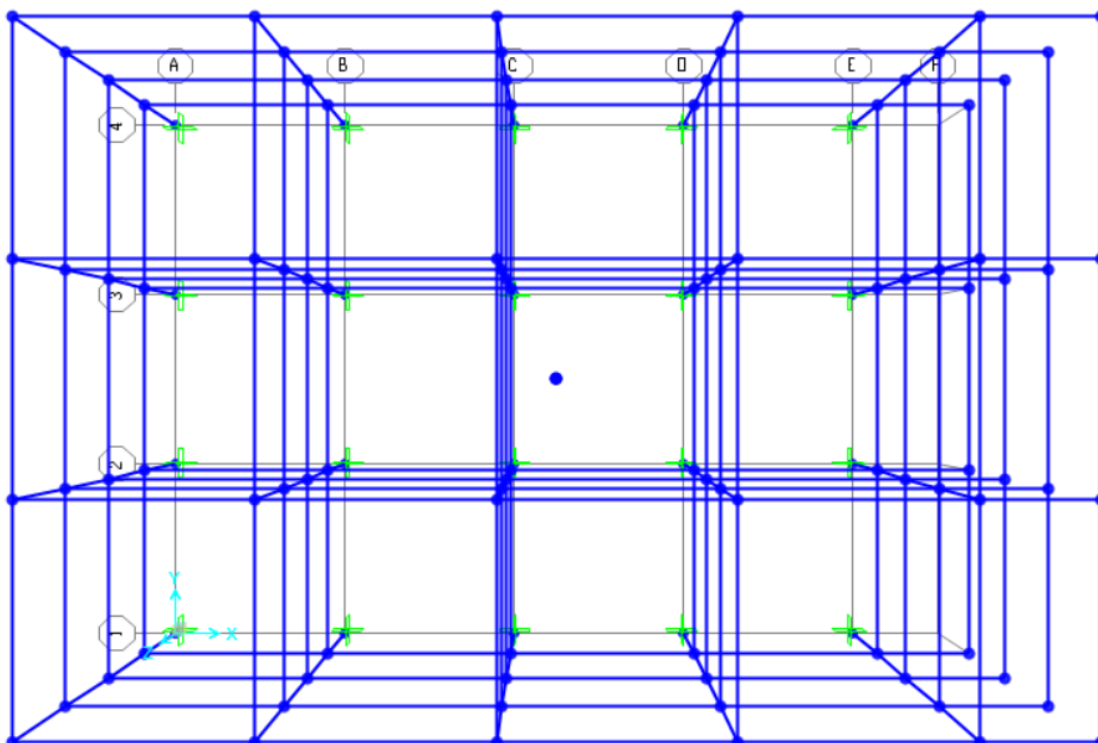
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	ElemStation
20	0	Q tot + vento	-269,062	-0,0062	17,8139	0
21	0	Q tot + vento	-269,062	0,0062	17,8139	0

CARICO SISMA

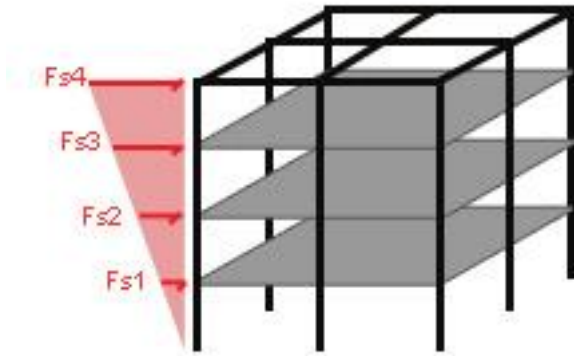
Il carico sisma, rispetto ai precedenti, risulta più complesso, in quanto viene applicato ai vari baricentri dei piani e presenta un diverso valore per ciascuno di esso.

Il primo passo è quindi quello di trovare e segnare i vari baricentri attraverso il comando "punto", segnando le coordinate e cliccando sull'origine degli assi cartesiani (per semplificazione si può copiare il punto per i vari piani attraverso CTRL+C/CTRL+V).

Successivamente bisogna assegnare ai vari punti i vincoli "diaphragm" precedentemente attribuiti, definire i carichi sisma(DEFINE, LOAD PATTERN), due per ciascun piano, secondo le direzioni X e Y (ma sempre per semplificazione, impieghiamo una sola direzione) e assegnarli ai rispettivi baricentri.



La definizione del carico sisma segue questa formula:



$$F_s = c \cdot w$$

Dove:

c = frazione accelerazione di gravità che dipende da zona sismica (0,2/0,3)

$w = (q_s + q_p + 20\%N(\text{carico neve}) + 30\%Q(\text{carico accidentale}))$

$$w = 2,57 \text{ Kn} + 3,36 \text{ Kn} + 0,1 \text{ Kn} + 0,6 \text{ Kn} = 6,63 \text{ Kn}$$

$$c = 0,3$$

$$F_s = 6,63 \cdot 0,3 = 1,99 \text{ Kn}$$

La ripartizione del carico sisma (maggiore nei piani superiori) avviene attraverso la formula:

$$F_i = F_s \cdot (z_i / \sum z_i)$$

$$F_1 = 1,99 \text{ Kn} \cdot (3 \text{ m} / 30 \text{ m}) = 0,2 \text{ Kn}$$

$$F_2 = 1,99 \text{ Kn} \cdot (6 \text{ m} / 30 \text{ m}) = 0,4 \text{ Kn}$$

$$F_3 = 1,99 \text{ Kn} \cdot (9 \text{ m} / 30 \text{ m}) = 0,6 \text{ Kn}$$

$$F_4 = 1,99 \text{ Kn} \cdot (12 \text{ m} / 30 \text{ m}) = 0,8 \text{ Kn}$$

Una volta definiti tutte le ripartizioni, vengono assegnate ai baricentri e successivamente si fa partire l'analisi e si esporta il file Excel.

CALCESTRUZZO

Gli elementi più sollecitati sono:

TRAVE PRINC (379) -> -66 Kn*m

MENSOLA(380) -> -112 Kn*m

PILASTRO(20) -> -611 Kn

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	M2	M3	ElemStation
380	0	Qtot	0	-63,711	0	0	-112,1216	0
27	0,5	Qtot + SISMA X	0	-49,128	0	0	-68,3197	0,5
42	0,5	Qtot	0	-49,128	0	0	-68,3197	0,5
42	0,5	Qtot + SISMA X	0	-49,128	0	0	-68,3197	0,5
379	6	Qtot + SISMA X	0	53,185	0	0	-66,0472	6

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	M2	M3	ElemStation
20	0	Qtot + SISMA X	-611,237	-9,06	-0,011	-0,0112	3,5397	0
21	0	Qtot + SISMA X	-611,237	-9,06	0,011	0,0112	3,5397	0

ACCIAIO

Gli elementi più sollecitati sono:

TRAVE PRINC (186)-> -75 Kn*m

MENSOLA (129)->-91 Kn*m

PILASTRO(53) -> -377 Kn

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	
1	6	0	0,311	6,116E-20	-5,863E-11	-2,802E-19	-0,3118	
186	8	0	47,338	0	2,705E-07	0	-75,4036	

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	
1	6	0	0,311	6,116E-20	-5,863E-11	-2,802E-19	-0,3118	
129	0	0	-44,859	0	0,0017	0	-91,0738	

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	
53	3	-377,644	3,254	0,0008214	-2,025E-18	-0,0008145	1,6614	
58	3	-377,644	3,254	-0,0008214	-2,025E-18	0,0008145	1,6614	

LEGNO

Gli elementi più sollecitati sono:

TRAVE PRINC (379)-> -43 Kn*m

MENSOLA(380) ->-51 Kn*m

PILASTRO(20) -> -256 Kn

42	0	Q tot+ sisma	0	0	-49,5816		
379	6	Q tot+ sisma	0	0	-42,8095		
384	6	Q tot+ sisma	0	0	-42,8095		

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	FrameElem	ElemStation
32	0	Q tot+ sisma	0	0	-51,4286	32-1	0
380	0	Qtot	0	0	-51,4242	380-1	0
380	0	Q tot+ sisma	0	0	-51,4242	380-1	0

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3	FrameElem	ElemStatio
20	0	Q tot+ sisma	-255,674	-0,0062	-1,115	20-1	
21	0	Q tot+ sisma	-255,674	0,0062	-1,115	21-1	

Dopo che si hanno tutti e tre i fogli con i risultati rispetto ai carichi NEVE, VENTO e SISMA, si va a cercare per ciascuno il telaio più sollecitato e quello che risulterà maggiore verrà utilizzato per la verifica finale a dimensionamento, il quale sarà differente per ciascuna tecnologia.

VERIFICA

La verifica di travi e mensole consiste nel mettere all'interno del foglio Excel della precedente parte, i valori dei Momenti per ricavare il valore di resistenza del materiale minima da confrontare con il tabellario.

CALCESTRUZZO

Mensola: $M = -137,37 \text{ KNm} \rightarrow$ SEZIONE : 40 x 50 cm

Trave: $M = -81,58 \text{ KNm} \rightarrow$ SEZIONE : 30 x 45 cm

Pilastro: $N = -621 \text{ KN} \rightarrow$ SEZIONE : 30 x 20 cm

ACCIAIO

Gli elementi più sollecitati tra tutti sono quelli del carico neve

Mensola: $M = -127 \text{ KNm} \rightarrow$ SEZIONE : IPE330

Trave: $M = -105 \text{ KNm} \rightarrow$ SEZIONE : IPE300

Pilastro: $N = 404 \text{ KN} \rightarrow$ SEZIONE : HEA100

LEGNO

Mensola: $M = -71,67 \text{ KNm} \rightarrow$ SEZIONE : 30 x 40 cm

Trave: $M = -61,20 \text{ KNm} \rightarrow$ SEZIONE : 30 x 40 cm

Pilastro: $N = -621 \text{ KN} \rightarrow$ SEZIONE : 30 x 20 cm

L'ultimo passo è quello di verificare le sezioni dei pilastri, in quanto soggetti a pressoflessione e non a flessione semplice come nelle tabelle.

Scegliamo per ogni tecnologia il pilastro con il massimo sforzo normale di segno concorde al massimo momento. Per ogni tecnologia c'è un metodo diverso.

CALCESTRUZZO

Dati

- Pilastro con $N = -428,26 \text{ KN}$ e $M = -22,235$
- Sezione $b = 30 \text{ cm}$ e $H = 20 \text{ cm}$
- $h/6 = 20/6 = 3,3 \text{ cm}$

-Determiniamo l'eccentricità $e = M/N = 0,045 \text{ m} = 4,5 \text{ cm}$

$e > h/6 \rightarrow$ formula monomia

$$u = h/2 - e = 5,5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\max} = 2N/3u \cdot b = 19,68 \text{ MPa} > f_{cd} = 14,2 \text{ MPa} \quad \text{NON VERIFICATO}$$

-Scegliamo allora una sezione quadrata di $30 \times 30 \text{ cm}$.

$e = 4,5 \text{ cm} < h/6 = 5 \text{ cm} \rightarrow$ consideriamo la sezione tutta compressa; utilizziamo Navier.

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W$$

$$W = I^3/6 = 4500 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = 5,5415 \text{ MPa} < 14,2 \text{ MPa} \quad \text{VERIFICATO}$$

ACCIAIO

Un'ulteriore verifica che la σ_{\max} sia minore della f_{yd}

Dati

- Pilastro con $N = -404 \text{ KN}$ e $M = -3,63 \text{ Kn} \cdot \text{m}$
- Sezione HEA100

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W = (-404.000 \text{ N}/0,002124 \text{ m}^2) + (-3,63 \text{ Kn} \cdot \text{m}/0,00007276 \text{ m}^3) = 240.097.000 \text{ N/m}^2 \rightarrow 240 \text{ Mpa}$$

$$240 \text{ Mpa} > 223 \text{ Mpa} \quad \text{NON VERIFICATO}$$

Andiamo ad impiegare una HEA più grande \rightarrow HEA120

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W = (-404.000 \text{ N}/0,002534 \text{ m}^2) + (-3,63 \text{ Kn} \cdot \text{m}/0,0001063 \text{ m}^3) = 193.580.363 \text{ N/m}^2 \rightarrow 194 \text{ Mpa}$$

193 Mpa < 223 Mpa **VERIFICATO**

LEGNO

Dati

- Pilastro con $N = -223,3$ KN e $M = -19,5$
- Sezione $b = H = 20$ cm
- Legno GL24H : $f_{fk} = f_{ck} = 24$ MPa

$$f_{fd} = f_{cd} = (k_{mod} \cdot f_k) / \gamma_m = 9,93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = N/A = 5,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = M/W = 0,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c / f_{cd} + \sigma_f / f_{fd} = 0,575 < 1 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$